

# Laboratorio - Fund. de las Comunicaciones

Christian Yoel Herrera  
Facultad de Ingenieria, UNLP

## Resumen

En este informe se desarrolla el estudio del procesamiento digital de señales utilizando el Dongle Receptor de SDR y el Software MatLab.

**Palabras Claves:** ING, UNLP, SDR, FM, MatLab, MPX

18 de noviembre de 2024

## Introducción

En el ámbito de las modulaciones analógicas, se analizarán algunos aspectos sobre la modulación FM, específicamente en estaciones locales utilizando el Dongle USB que incorpora un sintonizador (R820T2) y un demodulador digital (RTL2832U). En primer lugar se analizará el espectro de frecuencias en la banda de FM comercial y finalmente, descargando las muestras se demodulará el audio utilizando el software MatLab.

## Primera Vuelta

### Barrido del Espectro FM

En Argentina, la banda de frecuencias para el servicio de FM se encuentra entre los  $88\text{MHz}$  y los  $108\text{MHz}$ . Utilizando el analizador de espectro, se realizó un barrido de frecuencias en la banda de FM, y se eligió la frecuencia de  $103.7\text{MHz}$ . Se muestra en la siguiente imagen el espectro cuando se posiciona el filtro pasa-banda centrado en la frecuencia de la portadora y con un ancho de banda de  $264\text{kHz}$ .

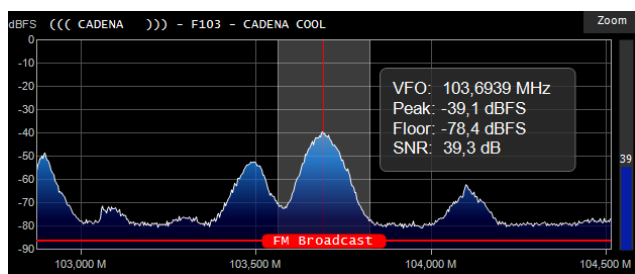


Imagen 1: Espectro de la frecuencia  $103.7\text{MHz}$

En esta frecuencia, se pudo observar gracias al plugin **FM MPX Spectrum** que el espectro no es esencialmente el audio en la banda de  $0 \sim 15\text{kHz}$ . Lo que se tiene es la señal **MPX** que utiliza los dos canales de audio (L y R) para formar el espectro de la imagen Imagen 2:

- El espectro de la suma de los canales.
- La frecuencia piloto de  $19\text{kHz}$ .
- El espectro de la resta de los canales que posteriormente es modulado en AM para centrarlo en  $38\text{kHz}$
- Y finalmente, el espectro del mensaje RDS que es un mensaje digital que se modula y se agrega al espectro.

Dado que el espectro llega mas allá de los  $15\text{kHz}$ , el ancho

de banda de Carson ahora será de  $264\text{kHz}$  ya que si la banda base es de  $W = 57\text{kHz}$ , y la máxima desviación de frecuencia se define en  $75\text{kHz}$ , entonces:

$$BW_c = 2 \left( \frac{75\text{kHz}}{57\text{kHz}} + 1 \right) \cdot 57\text{kHz} = 264\text{kHz}$$

Por este motivo, se utilizó anteriormente el filtro pasa-banda con un ancho de banda igual a  $BW_c$ .

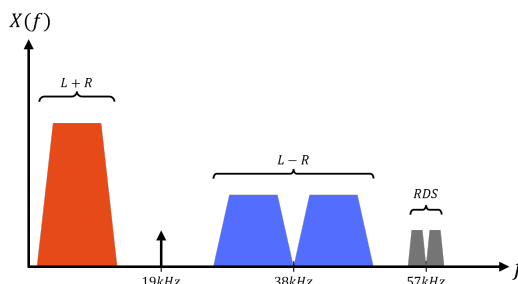


Imagen 2: Espectro de una señal MPX

El hecho de ir reduciendo la banda de paso del filtro provoca que se reciba menos potencia de la señal, lo que se traduce en una menor relación señal a ruido, de esta forma se puede observar que la señal de audio se va perdiendo a medida que se reduce el ancho de banda del filtro.

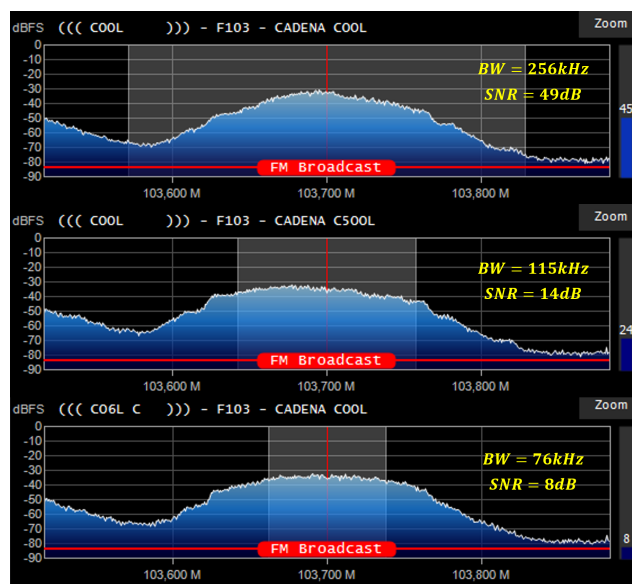


Imagen 3: SNR con distintos anchos de banda

Si la disminución es tal que se pierde parte del espectro de la

resta de los canales (L-R en la Imagen 2), entonces ya no se podrá demodular y escuchar en modo Estéreo.

En el caso de aumentar o disminuir la ganancia del receptor SDR, se puede observar que la señal de audio se distorsiona, y es en parte por aumentar la potencia de ruido, el cual hace que supere en algunos casos la potencia de las estaciones que transmiten.

## SDR + MatLab

### Espectro en Análisis

Utilizando el software MatLab, se realizó el análisis de la señal de radio FM en la frecuencia de  $103.7MHz$ . Se obtuvo la densidad espectral de potencia, el cual se muestra en la siguiente imagen.

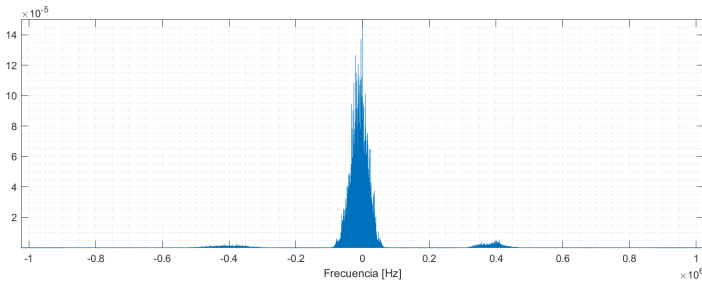


Imagen 4: Espectro de la señal de  $103.7MHz$

En tal espectro se ve que existen componentes en la banda de los  $264kHz$  pero se también se adiciona un espectro centrado en los  $400kHz$  aproximadamente. Esto no corresponde a la estación buscada con lo cual utiliza un filtro butterworth de orden 5.

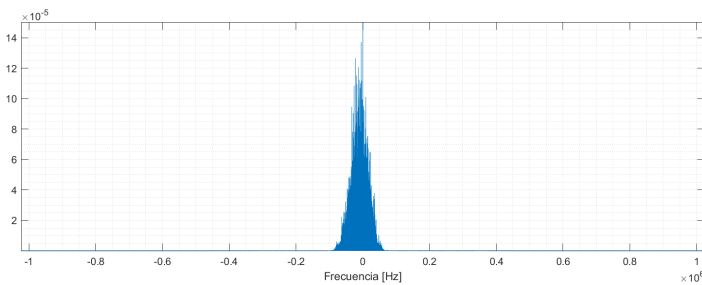


Imagen 5: Espectro filtrado

Una vez eliminado el espectro no deseado, se agrega un diezmado para que el procesamiento digital sea mas rápido al reducir la cantidad de muestras a procesar. Si se considera tener una señal que tenga un espectro de muestras entre  $-120kHz$  y  $120kHz$  cuando la frecuencia de muestreo era de  $2048kHz$ , se requiere:

$$N_1 = \frac{f_s}{2f_{lim}} = \frac{2048kHz}{2 \cdot 120kHz} = 8.53$$

Utilizando  $N_1 = 9$  se obtiene el espectro siguiente:

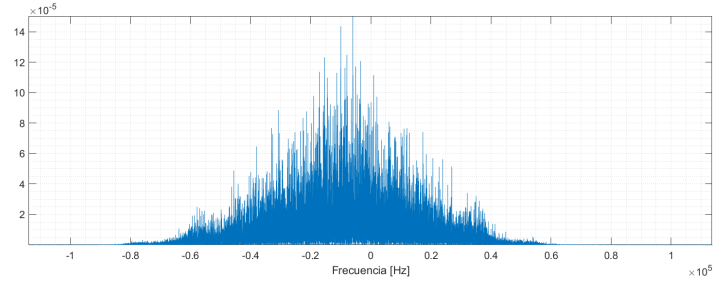


Imagen 6: Espectro diezmo con  $N_1 = 9$

En este punto, ya se puede intentar obtener el mensaje MPX descrito en la Imagen 2. Como el mensaje esta contenido en la fase de la señal, esto se modela como:

$$f(t) = f_c + \underbrace{\frac{1}{2\pi} \frac{d\phi}{dt}}_{f_d}$$

Entonces si:

$$f_d = K_f \cdot m(t) \rightarrow m(t) = \frac{f_d}{2\pi K_f} \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

Como está definida la máxima desviación sobre la portadora siendo este valor de  $75kHz$ , se puede pensar que el mensaje entonces ya esta normalizado, dejando entonces  $\max\{m(t)\} = 1$ . En base a esto, la constante  $K_f$  se puede calcular como:

$$\max\{f_d\} = K_f \cdot \max\{m(t)\} \rightarrow K_f = 75kHz$$

Ya teniendo este valor, solo resta usar la función `unwrap()` para eliminar los saltos de fase y luego aproximar la derivada con la función `diff()` junto a la frecuencia de muestreo para así obtener el mensaje MPX.

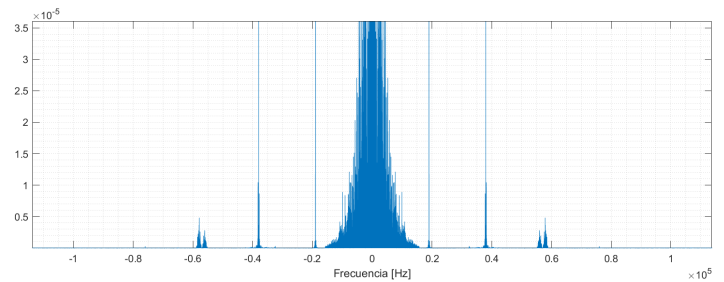


Imagen 7: Espectro del mensaje MPX

En esta ultima imagen, se puede observar que el mensaje  $m(t)$  posee las características de la señal MPX, con una señal piloto de  $19kHz$  y la señal de audio de  $38kHz$ . Finalmente, se ve en menor medida que existe espectro centrado en los  $57kHz$  que corresponde a la señal de RDS.

Para obtener de forma sencilla el audio se utilizará únicamente la componente L+R, la cual es el espectro de la señal monoaural. Para esto se realiza un filtrado de la señal MPX en la banda de 0 a  $15kHz$  pero en este caso utilizando un filtro de orden 20 para lograr mas selectividad ya que dejando el filtro de orden 5 se requiere colocar la frecuencia de corte por debajo de los  $8kHz$  atenuando la señal de audio que se quiere obtener.

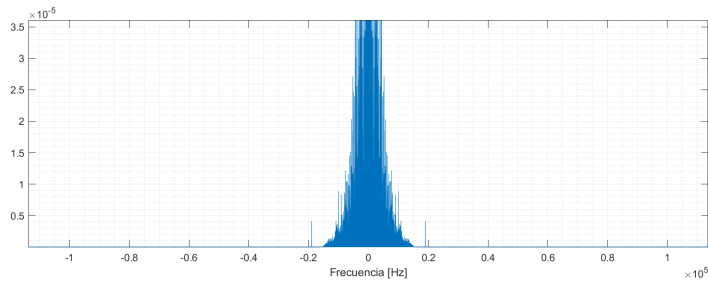


Imagen 8: Espectro del mensaje MPX Filtrado

Finalmente, se realiza un diezmado para lograr que la frecuencia de muestreo sea lo mas cercana a los  $48kHz$ , ya que en este punto, la  $f_s^* = f_s/N_1$ , entonces si busco los  $48kHz$  requiero:

$$f_s^{**} = \frac{f_s}{N_1 N_2} = 48kHz \rightarrow N_2 \approx 5$$

Usando esto, la frecuencia de muestreo final sera de  $f_s \approx 45kHz$  y graficando el espectro se puede ver:

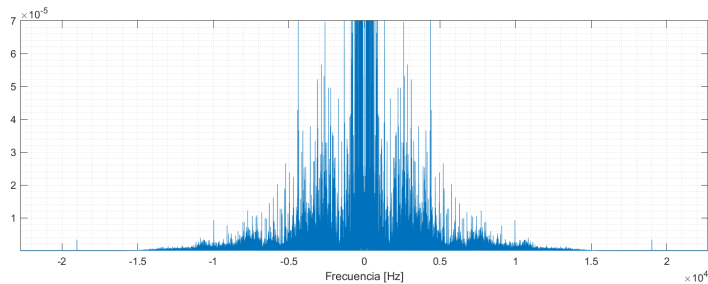


Imagen 9: Espectro audible (L+R)

Finalmente, se puede escuchar el audio de la señal de radio FM en la frecuencia de  $103.7MHz$ . Para esto se utilizó la función `soundsc()` de MatLab, la cual reproduce la señal de audio en tiempo real.

## Bibliografía

Señal MPX - J\_RPM [Recuperado el 17 de noviembre de 2024].  
(s.f.). <https://j-rpm.com/tag/senal-mpx/>